

БОЙКО СЕРГІЙ

Національного університету «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9778-2202>e-mail: kafedra_tt@zp.edu.ua**КОТОВ ОЛЕКСІЙ**

Національного університету «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-2856-1072>e-mail: kafedra_tt@zp.edu.ua**КРИВИХ ЮЛІЯ**

Національного університету «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-3183-8776>e-mail: kafedra_tad@zntu.edu.ua**ВИШНЕВСЬКИЙ СВЯТОСЛАВ**

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2159-603X>e-mail: vyshnevskiy.s.y@vntu.edu.ua**ГВОЗДІК СТАНІСЛАВ**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0002-5754-2949>e-mail: Stasgvozdik67@gmail.com

ДО ПИТАННЯ РОЗБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ АСПЕКТІ

У статті визначено, що Україна є країною-транзитером, що дає їй можливості розвитку та зобов'язує постійно розвивати транспортні галузь на загальнодержавному рівні. На сьогоднішній день, в Україні на частині її території ведуться бойові дії, а на решті території транспортна інфраструктура у зношеному стані та потребує модернізації, а місцями і повної заміни. Між тим, транспортні засоби, у тому числі і авіаційні, поступово переходять на нові альтернативні види палива, що в свою чергу потребує розвитку відповідної інфраструктури. Слід зазначити, що якщо розглядати авіаційний транспорт, то крім традиційних видів палива, які споживаються на даний час переважна більшість повітряних суден, поступово впроваджуються альтернативні види палива. Серед них слід виокремити водневі технології та електроенергетичні. Тож, актуальним є питання дослідження розвитку енергетичної складової інфраструктури авіаційного транспорту у тому числі в аспекті післявоєнного відновлення України. У статті проаналізовано особливості розвитку енергетичної інфраструктури об'єктів авіаційної інфраструктури при післявоєнному відновленні України. З метою підвищення надійності електропостачання об'єктів авіаційної галузі, авторами запропоновано використання електроенергетичних генеруючих установок на базі водневих технологій, котрі вимагають відносно невеликих обсягів сховищ, мають високу маневреність, є екологічно чистими і не залежать від рельєфу місцевості, що дозволяє їм знайти широкі застосування особливо у взаємодії з джерелами розосередженої генерації з стохастичними режимами функціонування.

Ключові слова: авіаційні підприємства; авіаційна галузь; енергоресурси; воднева енергетика; джерела розосередженої генерації.

BOIKO SERGEY, KOTOV OLEKSII, KRYVYKH YULIA

National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

VYSHNEVS'KYY SVIATOSLAV

Vinnytsia National Technical University

GVOZDIK STANISLAV

Kharkiv National University of Internal Affairs Kharkiv UA, Kremenchuk flight college

REGARDING THE DEVELOPMENT OF THE INFRASTRUCTURE OF THE AVIATION INDUSTRY IN THE ENERGY ASPECT

The article defines that Ukraine is a transit country, which gives it opportunities for development and obliges to constantly develop the transport industry at the national level. To date, hostilities are taking place in Ukraine on part of its territories, and in the rest of the territory, the transport infrastructure is in a dilapidated state and needs modernization, and in some places, complete replacement. Meanwhile, vehicles, including aviation, are gradually switching to new alternative types of fuel, which in turn requires the development of the corresponding infrastructure. It should be noted that if we consider aviation transport, in addition to traditional types of fuel, which are currently consumed by the vast majority of aircraft, alternative types of fuel are gradually being introduced. Among them, hydrogen technologies and electric power technologies should be singled out. Therefore, the question of researching the development of the energy component of the air transport infrastructure, including in the aspect of the post-war reconstruction of Ukraine, is relevant. The article analyzes the peculiarities of the development of the energy infrastructure of aviation infrastructure during the post-war reconstruction of Ukraine. In order to increase the reliability of power supply to aviation facilities, the authors proposed the use of electric power generating units based on hydrogen technologies, which require relatively small storage volumes, have high maneuverability, are environmentally friendly and do not depend on the topography of the area, which allows them to find wide application, especially in interaction with sources of distributed generation with stochastic modes of operation.

Key words: aviation enterprises; aviation industry; energy resources; hydrogen energy; sources of distributed generation.

Постановка проблеми

Україна є країною-транзитером, що дає їй можливості розвитку та зобов'язує постійно розвивати транспортні галузі на загальнодержавному рівні [1].

На сьогоднішній день, в Україні на частині її території ведуться бойові дії, а на решті території транспортна інфраструктура у зношеному стані та потребує модернізації, а місцями і повної заміни. Між тим, транспортні засоби, у тому числі і авіаційні, поступово переходять на нові альтернативні види палива, що в свою чергу потребує розвитку відповідної інфраструктури.

Слід зазначити, що якщо розглядати авіаційний транспорт, то крім традиційних видів палива, які споживаються на даний час переважна більшість повітряних суден, поступово впроваджуються альтернативні види палива. Серед них слід виокремити водневі технології та електроенергетичні.

Тож, актуальним є питання дослідження розвитку енергетичної складової інфраструктури авіаційного транспорту у тому числі в аспекті післявоєнного відновлення України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ряді іноземних та вітчизняних джерел, транспортні перевезення мають розглядатися системно в аспектах якості складних систем, для котрих принциповий комплексний розвиток у тому числі інфраструктури на енергетичної складової. Наявність можливості обслуговування різних типів транспорту надає переваги для активного розвитку транспортних систем [1-7].

У ряді літературних джерел приділено увагу сучасному стану та пріоритетним напрямкам розвитку систем енергозабезпечення, акумулювання електричної енергії та підвищення надійності електропостачання авіаційних об'єктів. Між тим, вони направлені на модернізацію та удосконалення існуючих систем управління з огляду на досвід розвинених країн світу. Тож, є необхідність розглянути питання електроенергозабезпечення об'єктів авіаційної галузі крізь призму майбутніх перетворень та сучасних особливостей функціонування авіаційної галузі України [8-11].

Мета статті: проаналізувати та визначити прорітетні напрямки розвитку енергетичної складової інфраструктури авіаційної галузі в контексті транспортних перевезень в аспекті післявоєнного відновлення України.

Виклад основного матеріалу

На території України наразі 17 аеропортів, котрі мають сертифікати на виконання авіаційних перевезень, 11 аеропортів є комунальними підприємствами та 4 аеропорти знаходяться в іншій формі власності. Як, відповідно даних Державного реєстру цивільних аеродромів, всього в Україні налічується 36 аеро- і вертодромів та 50 злітно-посадкових майданчиків, у яких скінчився термін сертифікації [7].

Зважаючи на те, що за даними реєстру Державної авіаційної служби в Україні зареєстровано кілька сотень цивільних повітряних суден різних типів як для комерційного використання, так і для приватних польотів то питання розвитку авіаційної галузі є актуальним. З поміж іншого, слід зазначити, що в ЄС зареєстровано в десятки разів більше цивільних повітряних суден як для комерційного використання, так і для приватних польотів, що вказує на недостатній рівень розвитку авіаційної галузі в Україні.

Також суттєвим чинником подальшого розвитку авіаційної галузі України є активне впровадження в структури перевезень та доставки вантажів безпілотних авіаційних комплексів та систем, окремі типи яких потребують аеро- і вертодромів, злітно-посадкових майданчиків та відповідної інфраструктури для їх обслуговування, зберігання та заправлення.

Враховуючи різноманітність паливно-мастильних матеріалів та поступове впровадження водневих технологій та електроенергетичних технологій для забезпечення енергією силових установок повітряних суден, постає питання побудови сучасних систем забезпечення паливними ресурсами аеродромів та аеропортів.

Зважаючи на актуальність побудови надійних та безперебійних систем енергозабезпечення систем аеродромів та аеропортів, розглядати зазначені питання необхідно комплексно.

Таким чином, авторами запропоновано комплексний підхід до організації енергозабезпечення аеродромів та аеропортів, враховуючи не лише вимоги надійності електропостачання, енергетичної ефективності та екологічності, а й комплексного економічного використання наявних енергоресурсів як для забезпечення паливних повітряних суден та безпілотних літальних апаратів, так і надійного та безперебійного забезпечення функціонування наземних авіаційних об'єктів, систем та їх мереж.

Таким чином сумарна згенерована потужність джерелами розосередженої генерації визначається з виразу [8]:

$$S_{\Sigma DES_p} = \sum_{i=1}^n S_{VES_{P_i}} + \sum_{i=1}^n S_{SES_{P_i}} + \sum_{i=1}^n S_{DES_{P_i}} \quad (1)$$

де S_{VES_p} – згенерована потужність ВЕС; S_{SES_p} – згенерована потужність СЕС; S_{DES_p} – згенерована потужність ДЕС.

Прогнозована спожита потужність за умови використання джерел розосередженої генерації в системі електропостачання дорівнює:

$$S_{PP_p} = S_{PS_p} + \left(\sum_{i=1}^n S_{VES_{P_i}} + \sum_{i=1}^n S_{SES_{P_i}} + \sum_{i=1}^n S_{DES_{P_i}} \right) \quad (2)$$

де S_{PSp} – прогнозована спожита електрична енергія промислового підприємства з енергосистеми.

З поміж іншого слід зазначити, що надійність в експлуатації електроустаткування систем електропостачання є одним з найважливіших факторів, що виказують істотний вплив на економічні показники енергетичних комплексів та систем. Так, вартість припинення подачі електроенергії у випадку аварійного простою буде становити значну частину сумарних витрат на виготовлення й монтаж мережі електропостачання, а для населення така аварія призводить до більших моральних потрясінь. Але, об'єкти авіаційної галузі мають підвищену надійність, та й наслідки знеструмлення авіаційних об'єктів інфраструктури призведе до катастрофічних наслідків. У зв'язку із цим питання вдосконалення методів експлуатації електроустаткування в системах електропостачання різного рівня, у тому числі на об'єктах авіаційної галузі та їх інфраструктурі є особливо актуальними [9].

Одним із варіантів підвищення надійності електропостачання, що на сьогоднішній день має популярність серед провідних країн світу є резервування та отримання електричної енергії від декількох незалежних джерел електричної енергії.

На території України є ряд проблем із системами електропостачання, котрі спричинені як застарілістю та моральним зносом обладнання так і бойовими діями. Тож і забезпечення надійності систе та мереж інфраструктури авіаційних об'єктів має відповідати зазначеним викликам.

Одним із варіантів забезпечення надійності та безперебійності систем електропостачання є акумулювання електричної енергії. Велика кількість систем розроблено з метою акумулювання електроенергії, та вони мають ряд недоліків, серед вагомих низький коефіцієнт корисної дії та висока собівартість [10].

Між тим, слід зазначити, що однією із передових технологій накопичення електричної енергії, котра має визнання та перспективи активного розвитку є технологія на основі водню. Водневі технології мають активний теоретичний та практичний розвиток, але не мають поки що широкого розповсюдження.

Найбільш широко використовувана технологія електролізу заснована на застосуванні лужних електролітів. Вдосконалені лужні електролізери можуть бути використані для великомасштабного виробництва водню з води з відносно високою сумарною ефективністю перетворення первинної енергії, рівній 28-36% з урахуванням ККД електростанції на рівні 35-40% [11].

Тим часом, перспективи електролізу пов'язані із застосуванням твердо-полімерних електролізерів (ТПЕ) з платиновими каталізаторами, які забезпечують більш високий вихід водню. Останнім часом ведуться розробки електролізерів з ТПЕ, що не містять дорогі металів, хоча, незважаючи на деякі успіхи в рішенні цієї задачі для спеціальних електролізерів з малим ресурсом роботи, прийнятного рішення для промислових електролізерів поки не знайдено. ТПЕ електролізери характеризуються значно більшими питомими капітальними витратами, ніж лужні, але ці витрати зменшаться при переході до великих обсягів виробництва.

Як джерело електроенергії для електролізу доцільно розглядати енергопостачання від вироблення електроенергії на місці на базі поновлюваних джерел енергії, наприклад, сонячної або вітрової енергії.

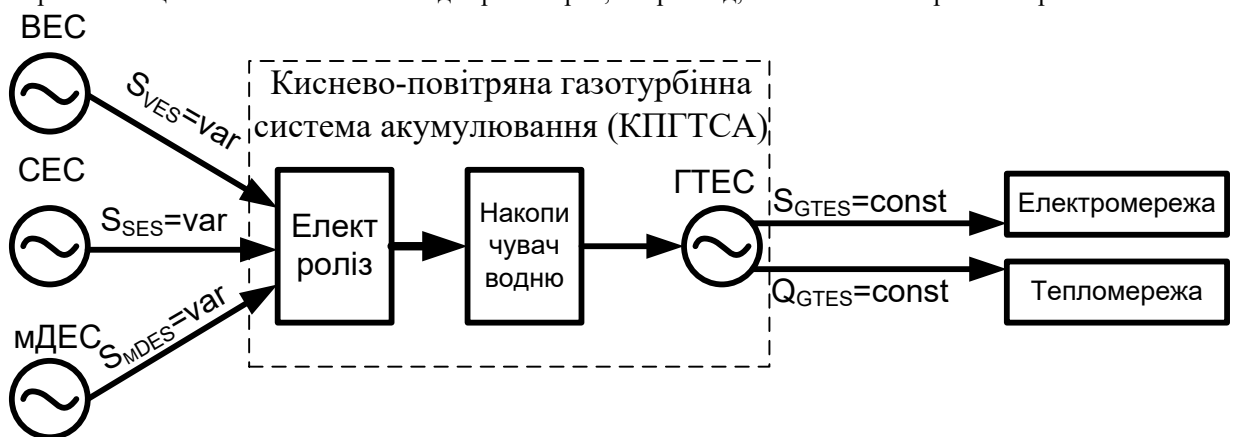


Рис. 1. Киснево-повітряна газотурбінна система акумулювання

При використанні енергії СЕС і ВЕС (описана нижче) основні показники технологій збігаються з аналогічними величинами моделі на базі енергосистеми; викиди ж CO_2 відсутні електроліз на базі енергії вітру).

За основу даної далі схеми взяті повітряно-акумулюють газотурбінні електростанції, які мають відносно хорошими експлуатаційними характеристиками: високим коефіцієнтом рекуперції (65 ... 80%) [2], яке можна порівняти з ГАЕС, і низькою вартістю кіловата встановленої потужності [3].

Принцип роботи ВАГТЕ полягає в закачуванні стисненого повітря в спеціальні резервуари за рахунок використання електроенергії, виробленої в години «провального» енергоспоживання. У години «пікового» енергоспоживання стиснене повітря, що підігрівається спалюванням природного газу, використовується для приводу газотурбінної енергоустановки, що виробляє додаткову електроенергію. Основними недоліками

подібних установок є потреба у великих обсягах сховищ і наявність шкідливих викидів в атмосферу через спалювання природного газу.

Авторами пропонується комбінована схема повітряно-акумуляуючої газотурбінної електростанції, в якій для підігріву повітря перед турбіною використовується теплота спалювання водню в кисні, отриманих шляхом електролізу.

Водень як акумулятор енергії має низку переваг у порівнянні з іншими системами акумуляції: висока щільність енергії, що запасється (до 38 кВт • год / кг (т)), відсутність шкідливих викидів при роботі, широке поширення в природі. Продуктом спалювання водню в кисні є водяна пара високої температури, що дозволяє використовувати його для підігріву повітря зі сховища шляхом змішування, виключаючи утворення шкідливих речовин, на відміну, наприклад, від спалювання водню безпосередньо в повітрі.

Використання водню дозволяє вирішити основну проблему ВАГТЕ, пов'язану з великими обсягами сховищ і використанням додаткового палива для підігріву, шляхом створення комбінованої воднево-повітряної газотурбінної системи акумуляції (ВВГТСА).

Принцип роботи ВВГТСА полягає в наступному. Під час «провального» енергоспоживання, акумуляції відбувається за двома напрямками. Перший - отриманням водню і кисню методом електролізу води і подальшим закачуванням їх в сховища. У разі використання електролізера високого тиску дотискний компресор для водню і кисню може або не знадобитися, або знадобиться компресор з невеликим ступенем підвищення тиску. Другий - шляхом стиснення повітря компресорами, які приводилися в дію мотор-генератором. Компресорна група може складатися з декількох (як показано на малюнку 1) компресорів середнього і високого тиску або одного осьового компресора з проміжними відводами тепла. Відведений при стисненні повітря тепло може бути направлено в тепловий акумулятор або використовуватися безпосередньо - для опалювальних потреб і т.д.

Впровадження описаних технологій має сприяти розвитку авіаційної інфраструктури, підвищення надійності електропостачання об'єктів авіаційної галузі та прискорити процес декарбонізації транспортної галузі.

Висновки

Проаналізовано особливості розвитку енергетичної інфраструктури об'єктів авіаційної інфраструктури при післявоєнному відновленні України.

З метою підвищення надійності електропостачання об'єктів авіаційної галузі, авторами запропоновано використання електроенергетичних генеруючих установок на базі водневих технологій, котрі вимагають відносно невеликих обсягів сховищ, мають високу маневреність, є екологічно чистими і не залежать від рельєфу місцевості, що дозволяє їм знайти широке застосування особливо у взаємодії з джерелами розосередженої генерації з стохастичними режимами функціонування.

Література

1. Соколова О. Є. Концептуальні засади формування мультимодальної системи перевезення вантажів. Наукоємні технології. 2014. № 1. С. 114-118.
2. Сторонянська І.З. Стале ендегенне зростання регіонів України в умовах децентралізації: монографія. Львів: ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України», 2019. 501 с.
3. Крихтіна Ю. О. Державна політика розвитку транспортної галузі України: теорія, методологія, практика: монографія. Харків: «Діса плюс», 2022. 336 с.
4. Krykavskiy Y., Shandrivska O., Shynkarenko N. Ukraine's river transportation potential: between business and sustainable development. Transport means 2019. Sustainability: Research and Solutions: Proceedings of the 23rd International scientific conference, October 02-04, 2019, Palanga, Lithuania, Pt. 2, pp. 634-638.
5. Steadie Seifi M., Dellaert N. P., Nuijten W., Van Woensel T., & Raoufi R. Multimodal freight transportation planning: A literature review. European Journal of Operational Research, 2014. 233 (1), pp. 1-15.
6. Kotov O., Obidin D., Boiko S., Pavlovskiy M., Nozhnova M. The Problems of Ensuring the Efficiency and Competitiveness of the Ukrainian Transport Industry to Meet the Modern Challenges and Threats Khazar Journal of Humanities and Social Sciences (Special Issue): Vol. 26 No. 3 (2023), pp. 48-63.
7. Бойко С.М., Котов О.Б. Перспективи розвитку мультимодальних технологій пасажирських перевезень на регіональному рівні в аспекті «зеленої» логістики. Системи та технології, 2023. Випуск 1 (65), С 94-99.
8. Аналітичний огляд «ЛСОЕ відновлюваних джерел енергії в Україні» Київ 2018 27 с.
9. Системы электроснабжения с источниками распределенной ге-нерации: Монография / А.Ф. Жаркин, С.П. Денисюк, В.А. Попов; за ред. С.Е. Ноткиной; Институт электродинамики НАН Украины. – Киев: Вид. Нова думка, 2017. – 231 с.
10. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах : монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця : Вінниця : ВНТУ, 2014. — 204 с.
11. Стахів П. Г., Козак Ю. Я., Гоголюк О. П. Підвищення ефективності алгоритмів побудови макромоделей об'єктів електроенергетичних систем // Те-хнічна електродинаміка. 2014. № 5. С. 29-31.

References

1. Sokolova O. YE. (2014) Conceptual foundations of the formation of a multimodal cargo transportation system. *Naukoyemni tekhnolohiyi*. Part 1, pp. 114-118.
2. Storonianska, I.Z. (2019), Sustainable endogenous growth of the regions of Ukraine in the conditions of decentralization, DU Instytut rehionalnykh doslidzhen imeni M.I. Dolishnoho NAN Ukrainy, Lviv , 501 p.
3. Krykhtina Y.U. O. (2022) State policy for the development of the transport industry of Ukraine: theory, methodology, practice. Kharkiv: «Disa plyus». 336 p.
4. Krykavskiy Y., Shandrivska O., Shynkarenko N. (2019). Ukraine's river transportation potential: between business and sustainable development. *Transport means 2019. Sustainability: Research and Solutions: Proceedings of the 23rd International scientific conference*, October 02–04, 2019, Palanga, Lithuania, Pt. 2, pp. 634–638.
5. Steadie Seifi M., Dellaert N. P., Nuijten W., Van Woensel T., & Raoufi R. (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233 (1), pp. 1–15.
6. Kotov O., Obidin D., Boiko S., Pavlovskiy M., Nozhnova M. (2023) The Problems of Ensuring the Efficiency and Competitiveness of the Ukrainian Transport Industry to Meet the Modern Challenges and Threats. *Khazar Journal of Humanities and Social Sciences (Special Issue)*: Vol. 26 No. 3, pp. 48-63.
7. Kotov O., Boiko S. (2023) Prospects for the development of multimodal technologies of passenger transportation at the regional level in the aspect of "green" logistics. *Systems and technologies*,. Vol. 1 (65), rr. 94-99.
8. Analitichnyy ohlyad «LCOE vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi v Ukraini» Kyiv 2018 27 s.
9. Systemy élektrosnabzhenyya s ystochnykamy raspredelenoy he-neratsyy: Monohrafiya / A.F. Zharkyn, S.P. Denysyuk, V.A. Popov; za red. S.E. Notkynoy; Ynstytut élektrodynamyky NAN Ukrainy. – Kyev: Vyd. Nova dumka, 2017. – 231 s.
10. Vidnovlyuvani dzherela enerhiyi v rozpodil'nykh elektrychnykh merezhakh : monohrafiya / P. D. Lezhnyuk, O. A. Koval'chuk, O. V. Nikitorovych, V. V. Kulyk. – Vinnytsya : Vinnytsya : VNTU, 2014. — 204 s.
11. Stakhiv P. H., Kozak YU. YA., Hoholyuk O. P. Pidvyshchennya efektyvnosti alhorytmiv pobudovy makromodeley ob'yektiv elektroenerhetychnykh system // *Tekhnichna elektrodynamika*. 2014. № 5. S. 29–31.